



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Off enlegungsschrift  
⑩ DE 42 44 240 A 1

⑤1 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**G 01 B 11/03**  
H 01 S 3/105  
H 01 S 3/11  
H 01 S 3/025

②1 Aktenzeichen: P 42 44 240.0  
②2 Anmeldetag: 24. 12. 92  
④3 Offenlegungstag: 30. 6. 94

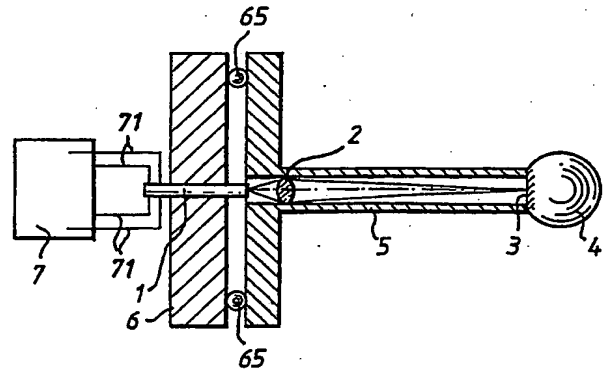
DE 42 44 240 A 1

⑦1 Anmelder:  
Fa. Carl Zeiss, 89520 Heidenheim, DE

⑦2 Erfinder:  
Noll, Gert, Dr., 7920 Heidenheim, DE

⑤4 Taststift

⑤7 Taststift mit einem beweglichen Berührungsteil (5) und einem festen Teil (6) und mit einem Laser-Rückkoppel-Sensor, aufgebaut mit Laser (1), externem Resonatorspiegel (3) und Fokussierlinse (2), wobei der Laser (Laserdiode) (1) am festen Teil (6) und die Fokussierlinse (2) am beweglichen Berührungsteil (5) befestigt sind, oder umgekehrt der Laser (1) am beweglichen Berührungsteil (5) und die Fokussierlinse (2) am festen Teil (6) befestigt sind. Für Koordinatenmeßgeräte u. a.



DE 42 44 240 A 1

Die Erfindung betrifft einen Taststift mit einem beweglichen Berührungsteil, einem festen Teil und mit einem Laser-Rückkoppel-Sensor, aufgebaut mit Laser, externem Resonatorspiegel und Fokussierlinse.

Ein solcher Taststift ist aus US 5,103,572 insbesondere Fig. 5 und 6 nebst zugehöriger Beschreibung bekannt. Diese Schrift nennt auch weiteren Stand der Technik. Ein zugrundeliegendes Laserdioden-Selbstrückkoppel-Interferometer nach Fig. 13 von T. Yoshino et al. Applied Optics 26 (1987), 892-897 weist ebenfalls eine Fokussierlinse im externen Resonator auf. Einheitlich wird davon ausgegangen, daß nur der Rückkoppelspiegel bewegt wird, die Fokussierlinse ist nur ein fakultatives Element.

Aufgabe der Erfindung ist es, einen gattungsgemäßen Taststift bei gleichbleibendem Aufwand mit größerer Meßempfindlichkeit auszustatten.

Dies gelingt dadurch, daß der Laser am festen Teil und die Fokussierlinse am beweglichen Teil befestigt sind, oder umgekehrt der Laser am beweglichen Berührungsteil und die Fokussierlinse am festen Teil befestigt sind.

Die Erfindung geht aus von der Erkenntnis, daß eine Relativbewegung der Fokussierlinse gegenüber dem Laser im Vergleich zu einer gleichgroßen Relativbewegung des Rückkoppelspiegels gegenüber dem Laser eine wesentliche stärkere Veränderung der Resonatorgüte bewirkt. Dies ist nicht wesentlich abhängig davon, ob der Rückkoppelspiegel mit der Fokussierlinse mitbewegt wird, oder ob er starr mit dem Laser verbunden ist. Dies wird durch die Ausführung mit dem Kennzeichen des Hauptanspruchs 1 ausgenutzt.

Dabei kann der Laser alternativ wie beim Stand der Technik am festen Teil befestigt sein, aber auch genauso gut am beweglichen Berührungsteil. Die Fokussierlinse ist am jeweils anderen Teil befestigt, um die maßgebliche Relativbewegung zu ermöglichen.

Ist der externe Resonatorspiegel daneben starr mit der Fokussierlinse verbunden, dann ergibt sich eine mechanisch und herstelltechnisch besonders einfache Lösung.

Der externe Resonatorspiegel kann jedoch im Gegensatz zum Stand der Technik auch starr mit dem Laser verbunden sein.

Als Laser eignet sich besonders eine Laserdiode oder ein Laserdiodenarray, wobei besonders ihre kompakte Bauart vorteilhaft ist.

Sind der feste Teil und der bewegliche Berührungsteil mit einer Linearführung miteinander verbunden, dann eignet sich der Taststift als z-Taster zur präzisen einachsigen Messung kleinster Verschiebungen von wenigen Mikrometern.

Nach Anspruch 6 mit einer in drei Achsen linear verschiebbaren und um zwei zur optischen Achse des Laser-Rückkoppel-Interferometers senkrechte Achsen drehbaren, also kippbaren Verbindung eignet sich der Taster als für alle Arten der Auslenkung empfindlicher schaltender Taster.

Hat der Auskoppelspiegel des Lasers reduzierte Reflexion, so daß Lasereffekt ohne den externen Resonatorspiegel nicht eintritt, so hat eine Veränderung der Geometrie von Laser, Fokussierlinse und Resonatorspiegel eine deutlich erhöhte Wirkung auf die Leistung des Lasers.

Vorteilhafterweise beträgt der Abstand zwischen Laser und Fokussierlinse weniger als die Hälfte des Ab-

stands zwischen Laser und Resonatorspiegel.

Die Erfindung wird anhand der schematischen Zeichnung näher erläutert.

Fig. 1 zeigt einen Taststift mit Laser-Rückkoppel-Sensor, bei dem neben der Fokussierlinse auch der Rückkoppelspiegel im kippbaren Teil angeordnet ist;

Fig. 2a zeigt im Längsschnitt einen Taststift gemäß der Erfindung mit starr mit dem Laser verbundenem Resonatorspiegel;

Fig. 2b zeigt einen Querschnitt eines Taststifts nach Fig. 2a;

Fig. 3 zeigt einen Taststift, bei dem Laser und Rückkoppelspiegel am beweglichen Berührungsteil befestigt sind und das Berührungsteil am festen Teil linear geführt ist;

Fig. 4 zeigt im teilweisen Schnitt ein Ausführungsbeispiel mit besonders geringem Abstand von Laser und Fokussierlinse und mit fünffachsigem Federgelenk;

Fig. 5 zeigt den Verlauf der Laserleistung in Abhängigkeit von rein axialer Verschiebung der Tastkugel (und damit des Objektivs);

Fig. 6 zeigt den Verlauf der Laserleistung in Abhängigkeit der linearen Verschiebung des Objektivs in den drei Koordinatenrichtungen bei angepaßtem Offset.

Fig. 1 zeigt einen Laser (1), eine Fokussierlinse (2) und einen Spiegel (3), welche den Laser (1) mit einem externen Resonator ergänzen. Diese Bauteile sind integriert in einen Taststift mit Tastkugel (4) am beweglichen, stabförmigen Teil (5), das über ein bei Taststiften übliches Kipplager (65) mit stabiler Grundstellung auf einem an der Meßmaschine, insbesondere deren Pinole, befestigten festen Teil (6) abgestützt ist.

Der Laser (1) ist in diesem festen Teil (6) angeordnet. Der Laser (1) ist im Beispiel eine kommerziell erhältliche Laserdiode mit integrierter Fotodiode zur Leistungserfassung Modell Hitachi HL 7806. über Anschlußleitungen (71) ist der Laser (1) mit integrierter Fotodiode mit einer elektronischen Schaltung (7) verbunden, die zur Stromversorgung und Leistungsauswertung des Lasers (1) dient. Damit ist der auch aus US 5,103,572 bekannte Laser-Rückkoppel-Sensor aufgebaut, der aber hier die relativ zum Laser (1) beim Antasten der Tastkugel (4) bewegliche Fokussierlinse (2) enthält. Durch die Bewegung der Fokussierlinse (2) mit der Tastkugel (4) ist die spezifische Lichtablenkung im Resonator (1, 2, 3) höher, als wenn nur der Resonatorspiegel (3) mitbewegt wird.

Im Beispiel der Fig. 2a und 2b trägt das feste Teil (620) den Laser (1) und auf einem geschlitzten Rohr (62) auch den Resonatorspiegel (3). Die Fokussierlinse (2) ist über ihre Fassung (52) und drei durch die Schlitze des Rohrs (62) greifende Stege (521, 522, 523) mit dem die Tastkugel (4) tragenden beweglichen Berührungsteil (5) fest verbunden. Das Berührungsteil (5) ist über einen Federbalg (652) in fünf Achsen — außer Drehung um die optische Achse des Laser-Rückkoppel-Interferometers (1, 2, 3) — beweglich mit dem festen Teil (6) verbunden. Im Querschnitt Fig. 2b ist dazu die Durchführung der Halterung (52, 521, 522, 523) für die Fokussierlinse (2) durch das geschlitzte Rohr (62) verdeutlicht.

In Fig. 3 sind Laser (1) und Spiegel (3) mit dem beweglichen Teil (53) mit der Tastkugel (4) verbunden. Die Leitungen (71) stellen flexibel den Anschluß zur hier nicht dargestellten Schaltung her. Ober Gleitlager (653) ist das bewegliche Teil (53) linear am festen Teil (63) geführt, welches die Fokussierlinse (2) enthält. Die Linearführung kann auch anders erfolgen, z. B. über Federparallelogramme. In dieser Ausführung erhält man ei-

nen eindimensionalen z-Taster, der gut zum Messen sehr kleiner linearer Auslenkungen der Tastkugel (4) im Bereich weniger Mikrometer geeignet ist.

Zudem zeigt die Fig. 3 die einzelnen Komponenten einer als Laser (1) verwendeten kommerziellen Laserdiode, nämlich die eigentliche Laserdiode (11), die auch ein Laserdioden-Array sein kann, mit dem Auskoppelspiegel (12) und der Fotodiode (13), die als Monitor für die optische Leistung der Laserdiode (11) dient. Der Auskoppelspiegel (12) ist normalerweise einfach die durch Spalten erzeugte Endfläche des die Laserdiode bildenden Halbleiterkristalls. In der erfindungsgemäßen Anordnung ist es jedoch auch sinnvoll, die Laserdiode (11) einseitig zu entspiegeln, den Auskoppelspiegel (12) in seiner Reflektivität durch Aufbringen von Entspiegelungsschichten also soweit zu reduzieren, daß der Lasereffekt ohne den externen Resonatorspiegel (3) nicht mehr eintritt. Damit gelingt es, den gesamten Laser-Rückkoppel-Sensor gegen Verstimmung des externen Resonators, und das heißt gegen Bewegungen der Fokussierlinse (2), noch empfindlicher zu machen.

In Fig. 4 geht der die Tastkugel (4) tragende rohrförmige bewegliche Teil (54) über ein aus diesem Teil z. B. durch Erodieren herausgearbeitetes fünffaches Federgelenk (654) in den festen Teil (64) über. Auf einem durch das Federgelenk (654) in das bewegliche Teil (54) hineinragenden Fortsatz (641) des festen Teils (64) ist die Laserdiode (1) mit integrierter Fotodiode angebracht, deren Anschlußleitungen mit (71) bezeichnet sind.

Nah an der Laserdiode (1) ist die Fokussierlinse (2), die auch als mehrstufiges Objektiv ausgebildet sein kann, mit einer Fassung (22) im rohrförmigen beweglichen Teil (54) z. B. durch Klebung befestigt. Der Rückkoppelspiegel (3) z. B. aus Aluminium mit über 90% Reflexion ist auf die Tastkugel (4) geklebt und mit dieser an das rohrförmige bewegliche Teil (54) angeklebt, und zwar nach dem Prinzip des Richtkittens bei laufendem Laser (1) in eine Position gebracht, die maximale Leistung des Lasers (1) erbringt, oder bei der die Kennlinie der Leistung des Lasers (1) abhängig von der Bewegung in den einzelnen Achsen die gewünschte Form hat. Der Fortsatz (641) ist so ausgebildet, daß auch die Lage des Lasers (1) justiert werden kann und daß die erforderliche Kühlung gesichert ist.

Der Abstand von der Laserdiode (1) Hitachi 7806G zum Rückkoppelspiegel (3) beträgt in diesem Beispiel ca. 120 mm, der Abstand Laserdiode (1) zur Fokussierlinse (2) liegt bei 7 mm, die Brennweite der Fokussierlinse (2) ist etwas kleiner, so daß auf dem Rückkoppelspiegel (3) die Strahltaile zu liegen kommt. Am Rückkoppelspiegel (3) ergibt sich eine Schärfentiefe von mehreren Millimetern, so daß axiale Verschiebungen des Rückkoppelspiegels (3) bis zu diesem Maß keinen wesentlichen Einfluß auf die Resonatorgüte haben. Der externe Resonator hat dagegen bei einer Längsverschiebung der Fokussierlinse (2) von 2 µm über fünfzig Prozent Verlust. Dieses Verhalten bzw. die expliziten Werte hängen von der eingestellten Resonatorlänge ab, bei Vergrößerung der Länge wird die Empfindlichkeit größer.

Fig. 5 zeigt die an einer Monitor-Photodiode der Laserdiode (1) eines Taststifts nach Fig. 4 auftretende Variation der Laserleistung bzw. Photodiodenspannung U in relativen Einheiten in Abhängigkeit der rein axialen Verschiebung des Objektivs (2) und somit auch der Tastkugel (4) gegenüber dem Laser (1), ausgehend von einem Bezugspunkt bei nahezu maximaler Leistung. Die

Kennlinie zeigt Extrema und etwa im Intervall 13 bis 18 Mikrometer in guter Näherung linear fallenden Verlauf. Dieser Bereich kann also als linear messender Bereich des Tasters genutzt werden. Durch Anfitzen eines gemessenen Kurvenverlaufs an einen einmal kalibrierten kann die Auslenkung jedoch auch in nichtlinearen Bereichen der Kennlinie gut bestimmt werden, bzw. der Verlauf eines Antastvorgangs kann genau verfolgt werden.

Wegen der axialen Symmetrie der Anordnung ergibt sich, daß ausgehend von einer Justierung mit optimaler Leistung die Empfindlichkeit gegen seitlichen Versatz und gegen Verkipfung der Fokussierlinse (2) minimal ist. Dies läßt sich jedoch umgehen, indem die Grundstellung so einjustiert wird, daß die Fokussierlinse (2) gering seitlich versetzt ist (Offset). Da die einzelnen Bewegungen nicht unabhängig sind, ist dann auch ein axialer Versatz nötig. Es ist dann jedoch möglich, eine Justierposition zu finden, von der aus die Kennlinie der Leistung in Abhängigkeit von der Lageänderung für alle Richtungen mit ähnlicher Steigung hinreichend linear verläuft. Die geeignetste Justierung, die auch von der geforderten Charakteristik abhängt, kann durch Ab-scannen der Justierposition und Aufnahme der Kennlinien automatisiert, auch beim Richtkitten als kombiniertem Justier- und Montageverfahren, ausgeführt werden.

Fig. 6 zeigt ein Beispiel für die Kennlinien beim Versatz in x-, y-, z-Richtung mit geeignetem Vorsatz der Grundstellung.

Wurde bei der Justierung des Beispiels der Fig. 5 eine Empfindlichkeit von ca. 180 a.u. pro µm (relative Einheiten, von Schaltungsdetails der integrierten Fotodiode und der elektronischen Schaltung (7) abhängig), so ist der axiale x-Wert mit 84 a.u. pro Mikrometer zwar halbiert, in den dazu senkrechten Richtungen werden jedoch immerhin 50 a.u. / µm bei 60 µm Offset in y-Richtung und 28 a. u. / µm bei 20 µm Offset in z-Richtung erreicht, bei 0 µm Offset in x-Richtung. Bei der Aufnahme wurden die Positionen der jeweils nicht abgescannten Bewegungsrichtungen in der Mitte des konstanten Steigungsbereiches eingestellt; der so festgelegte Arbeitspunkt (Offset + Position "Mitte") liegt somit bei 15 µm für axial x, 70 µm für y, 25 µm für z. Die y/z-Asymmetrie liegt im wesentlichen in der Unsymmetrie der Laserdioden-Abstrahlcharakteristik begründet.

Der erfindungsgemäße Taststift eignet sich zur Anwendung in Koordinatenmeßmaschinen und für andere Meßzwecke. Die Merkmale sind im Rahmen der Erfindung änderbar und austauschbar, insbesondere sind Merkmale einzelner Beispiele untereinander austauschbar und kombinierbar. Auch Abwandlungen gemäß dem Stand der Technik aus US 5 103 572 sind im Rahmen der Erfindung möglich.

#### Patentansprüche

1. Taststift mit einem beweglichen Berührungsteil (5) und einem festen Teil (6) und mit einem Laser-Rückkoppel-Sensor, aufgebaut mit Laser (1), externem Resonatorspiegel (3) und Fokussierlinse (2), dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (1) am festen Teil (6) und die Fokussierlinse (2) am beweglichen Berührungsteil (5) befestigt sind, oder umgekehrt der Laser (1) am beweglichen Berührungsteil (5) und die Fokussierlinse (2) am festen Teil (6) befestigt sind.

2. Taststift nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der externe Resonatorspiegel (3) starr mit

der Fokussierlinse (2) verbunden ist (Fig. 1, 4).

3. Taststift nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der externe Resonatorspiegel (3) starr mit dem Laser (1) verbunden ist (Fig. 2, 3).

4. Taststift nach mindestens einem der Ansprüche 1—3, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (1) eine Laserdiode oder ein Laserdiodenarray ist.

5. Taststift nach mindestens einem der Ansprüche 1—4, dadurch gekennzeichnet, daß der feste Teil (63) und der bewegliche Berührungsteil (53) mit einer Linearführung (653) miteinander verbunden sind (Fig. 3).

6. Taststift nach mindestens einem der Ansprüche 1—4, dadurch gekennzeichnet, daß der feste Teil (6) und der bewegliche Berührungsteil (5) gegeneinander in drei Achsen (x, y, z) verschiebbar und um zwei zur optischen Achse (z) des Laser-Rückkoppel-Sensors (1, 2, 3) senkrechte Achsen drehbar sind.

7. Taststift nach mindestens einem der Ansprüche 1—6, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (1) einen Auskoppelspiegel (12) mit derart reduzierter Reflexion hat, daß Lasereffekt ohne den externen Resonatorspiegel (3) nicht eintritt.

8. Taststift nach mindestens einem der Ansprüche 1—7, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand zwischen Laser (1) und Fokussierlinse (2) weniger als die Hälfte des Abstandes zwischen Laser (1) und Resonatorspiegel (3) ist.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

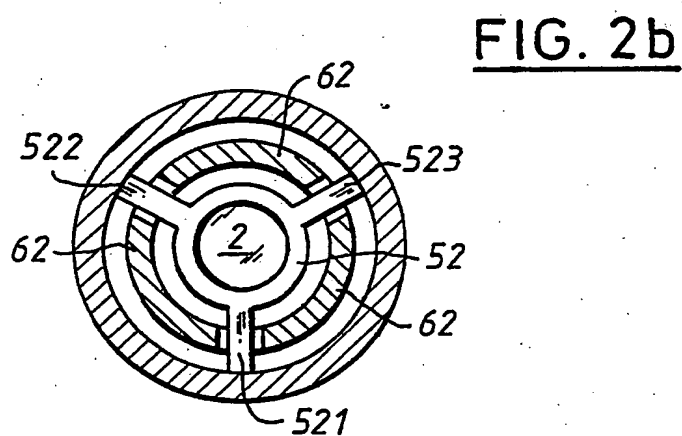
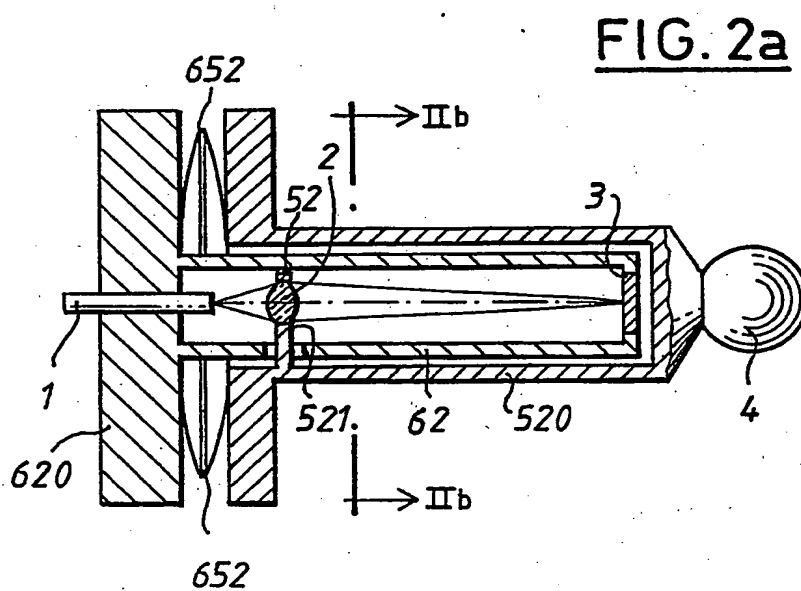
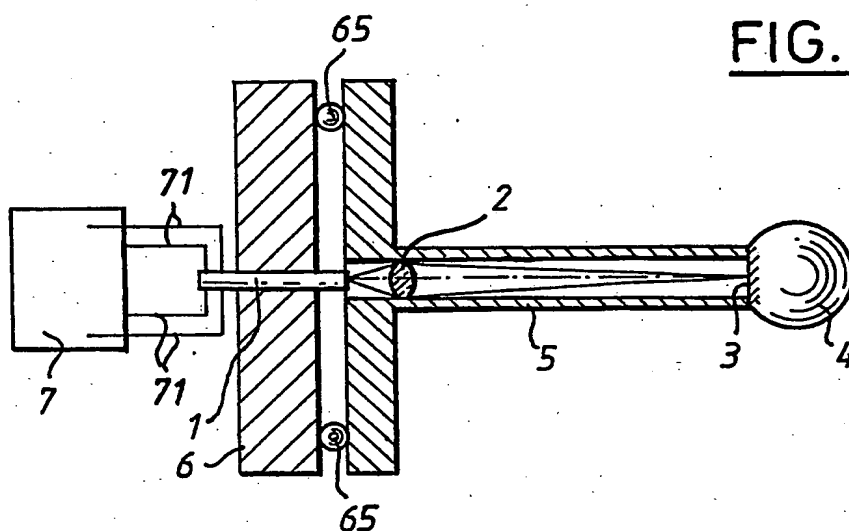


FIG. 3

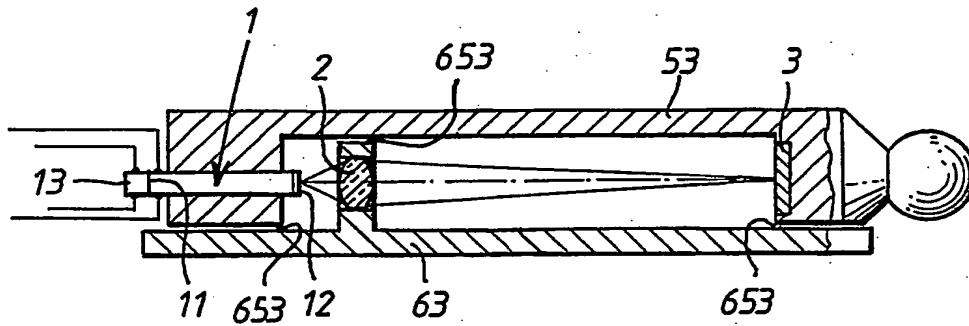


FIG. 4

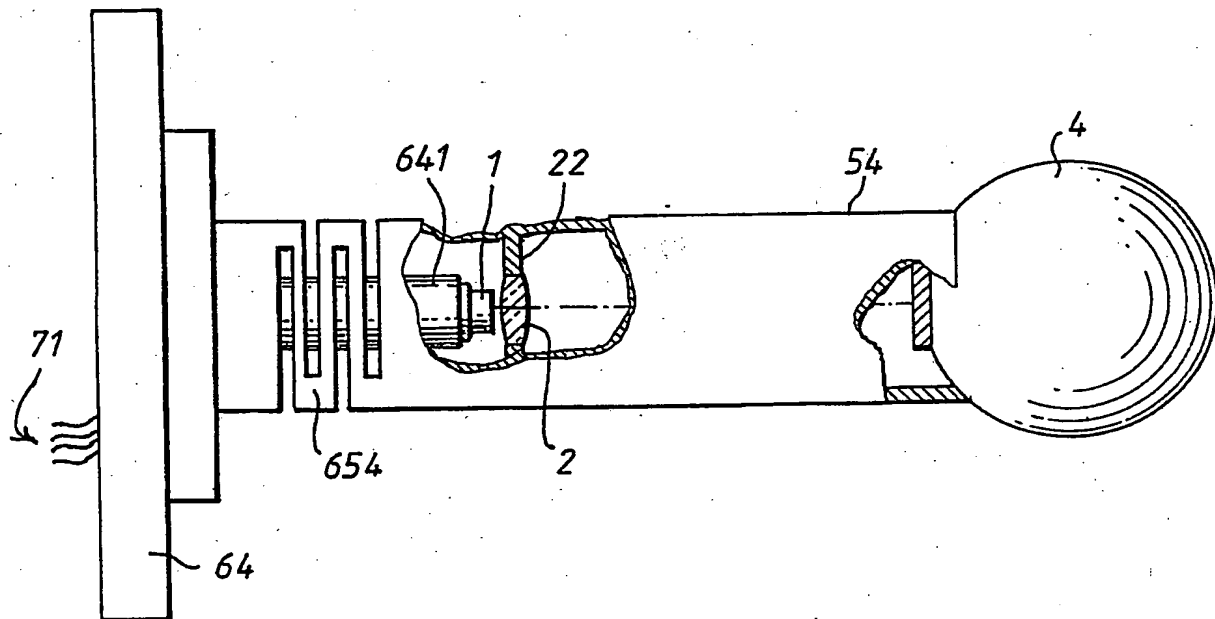


FIG. 5

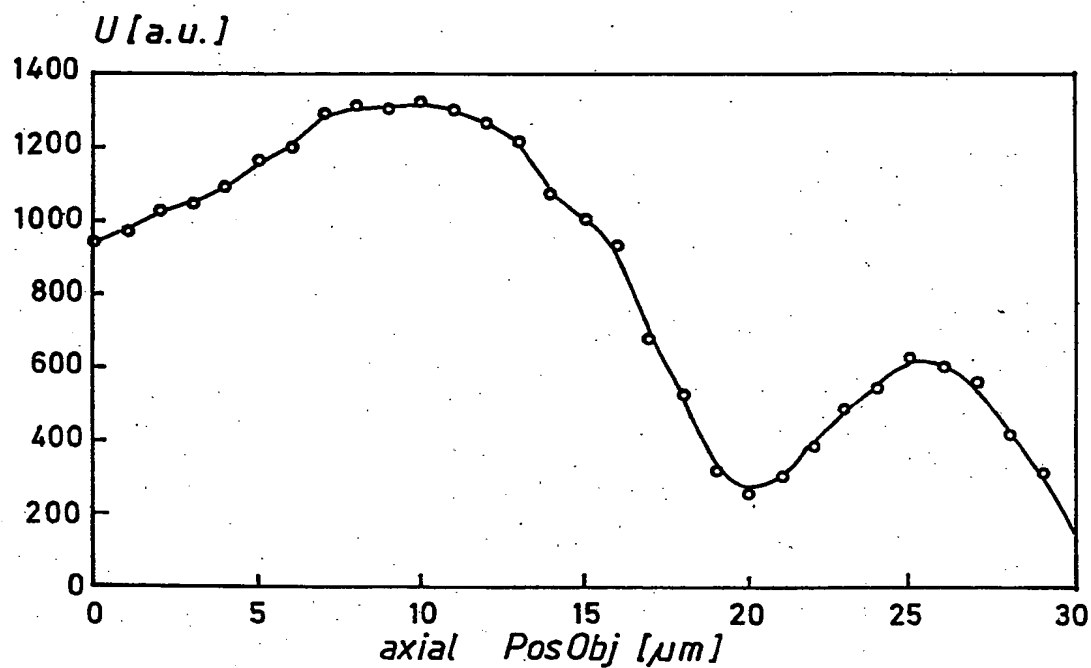
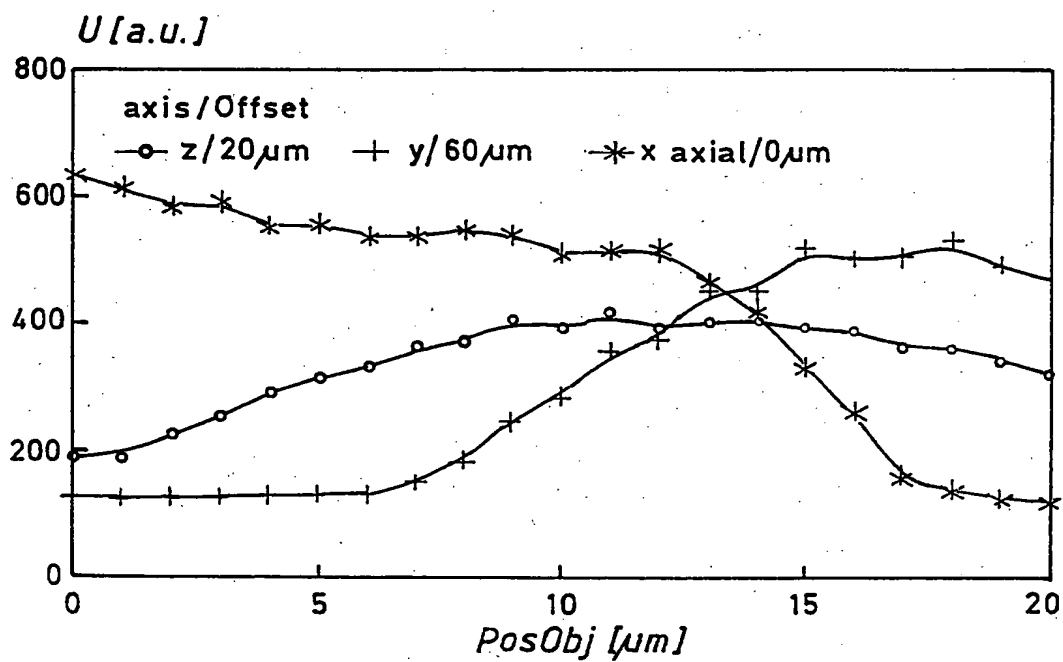


FIG. 6





## ENGLISH TRANSLATION

Laid-Open Patent Application DE 42 44 240 A1

### Description

5 The invention relates to a feeler pin having a moveable contact element, a fixed element and having a laser feedback sensor, constructed with a laser, external resonator mirror and a focusing lens.

10 Such a feeler pin is disclosed in US 5,103,572, in particular Figures 5 and 6 in conjunction with the associated description. This document also names further prior art. A fundamental laser diode self-feedback interferometer according to Figure 13 from  
15 T. Yoshino et al. Applied Optics 26 (1987), 892-897 likewise has a focusing lens in the external resonator. It is likewise assumed that only the feedback mirror is moved, and the focusing lens is merely an optional element.

20

It is the object of the invention to equip a generic feeler pin with a greater measuring sensitivity in conjunction with the same outlay.

25 This is achieved by virtue of the fact that the laser is fastened on the fixed element, and the focusing lens is fastened on the moveable contact element, or conversely the laser is fastened on the moveable contact element, and the focusing lens is fastened on  
30 the fixed element.

The invention proceeds from the finding that a relative movement of the focusing lens with respect to the laser effects a much greater change in the resonator quality  
35 by comparison with the relative movement of the same size of the feedback mirror with respect to the laser. This is not greatly dependent on whether the feedback mirror is moved along with the focusing lens or whether it is rigidly connected to the laser. This is used by

the design with the characterizing part of the main Claim 1.

5 In this case, the laser can alternatively, as in the prior art, be fastened on the fixed element, and also just as effectively on the moveable contact element. The focusing lens is fastened on the respective other element in order to enable the decisive relative movement.

10 If the external resonator mirror is, in addition, rigidly connected to the focusing lens, this produces a solution which is particularly simple in terms of mechanics and production engineering.

15 However, the external resonator mirror can also be rigidly connected to the laser, by contrast with the prior art.

20 Particularly suitable as laser is a laser diode or a laser diode array, the compact design thereof being particularly advantageous.

25 If the fixed element and the moveable contact element are connected to one another with the aid of a linear guide, the feeler pin is suitable as Z-probe for precise uniaxial measurement of very small displacements of a few micrometres.

30 According to Claim 6 with a connection which can be displaced linearly along three axes and can be rotated about two axes perpendicular to the optical axis of the laser feedback interferometer, and is thus tiltable, the probe is suitable as a switching probe sensitive to  
35 all types of deflection.

If the coupling-out mirror of the laser has reduced reflection such that the laser effect does not occur without the external resonator mirror, a variation in

the geometry of the laser, focusing lens and resonator mirror has a substantially increased effect on the power of the laser.

- 5 The distance between the laser and focusing lens is advantageously less than half the distance between the laser and resonator mirror.

10 The invention is explained in more detail with the aid of the diagrammatic drawing.

Figure 1 shows a feeler pin with a laser feedback sensor in the case of which the feedback mirror is also, in addition to the focusing lens, arranged in the  
15 tiltable element;

Figure 2a shows a longitudinal section of a feeler pin in accordance with the invention, with the resonator mirror rigidly connected to the laser;

20

Figure 2b shows a cross section of a feeler pin according to Figure 2a,

Figure 3 shows a feeler pin in which the laser and  
25 feedback mirror are fastened on the moveable contact element, and the contact element is guided linearly on the fixed element;

Figure 4 shows, partly cut away, an exemplary  
30 embodiment with a particularly small spacing between the laser and focusing lens, and with a spring joint having five axes;

Figure 5 shows the profile of the laser power as a  
35 function of a purely axial displacement of the feeler ball (and thus of the objective); and

Figure 6 shows the profile of the laser power as a function of the linear displacement of the objective in

the three co-ordinate directions, in the case of an adapted offset.

Figure 1 shows a laser (1), a focusing lens (2) and a  
5 mirror (3) which supplement the laser (1) with an external resonator. These components are integrated in a feeler pin with a feeler ball (4) on the moveable, rod-shaped element (5) which is supported via a tilting bearing (65), customary in the case of feeler pins,  
10 with a stable basic position on a fixed element (6), fastened on the measuring machine, in particular its quill.

The laser (1) is arranged in this fixed element (6). In  
15 the example, the laser (1) is a commercially available laser diode with an integrated photodiode for power measurement, model Hitachi HL 7806. The laser (1) is connected via connecting lines (71) to an integrated photodiode with an electronic circuit (7) which serves  
20 the purpose of supplying power to and evaluating the performance of the laser (1). The laser feedback sensor known from US 5,103,572 is also constructed in this way, but it includes here the focusing lens (2) which is moveable relative to the laser (1) during tracing by  
25 the feeler ball (4). Owing to the movement of the focusing lens (2) with the feeler ball (4) the specific optical deflection in the resonator (1, 2, 3) is higher than when only the resonator mirror (3) is also moved.

30 In the example of Figures 2a and 2b, the fixed element (620) carries the laser (1), and also the resonator mirror (3) on a slotted tube (62). The focusing lens (2) is permanently connected via its mount (52) and three holders (521, 522, 523), clipping through the  
35 slots of the tube (62), with the moveable contact element (5) bearing the feeler ball (4). The contact element (5) is moveably connected to the fixed element (6) via a bellows (652) on five axes - apart from rotation about the optical axis of the laser feedback

interferometer (1, 2, 3). For this purpose, the cross section of Figure 2b illustrates the way the holder (52, 521, 522, 523) for the focusing lens (2) is guided through the slotted tube (62).

5

The laser (1) and mirror (3) are connected in Figure 3 to the feeler ball (4) with the moveable element (53). The lines (71) make the flexible connection to the circuit (not illustrated here). The moveable element  
10 (53) is guided linearly via slide bearings (653) on the fixed element (63), which contains the focusing lens (2). The linear guide can also be performed otherwise, for example, via spring parallelograms. This design produces a one-dimensional Z-probe which is well suited  
15 for measuring very small linear deflections of the feeler ball (4) in the range of a few micrometres.

In addition, Figure 3 shows the individual components of a commercial laser diode used as a laser (1),  
20 specifically the actual laser diode (11), which can also be a laser diode array, with the coupling-out mirror (12) and the photodiode (13), which serves as monitor for the optical power of the laser diode (11). The coupling-out mirror (12) is normally simply the end  
25 face, produced by splitting of the semi-conductor crystal forming the laser diode. In the arrangement according to the invention, it is, however, also sensible to coat the laser diode (11) on one side, that is to say to reduce the reflectivity of the coupling  
30 out mirror (12), by applying antireflection coatings, to such an extent that the laser effect no longer occurs without the external resonator mirror (3). It is thereby possible for the entire laser feedback sensor to be rendered even more sensitive to detuning of the  
35 external resonator, that is to say to movements of the focusing lens (2).

In Figure 4, the tubular moveable element (54) carrying the feeler ball (4) merges with the fixed element (64).

via a five-axis spring joint (654) produced from the said moveable element, for example by erosion. The laser diode (1) with integrated photodiode, whose connecting lines denoted by (71), is fitted on an extension (641), projecting through the spring joint (654) into the moveable element (54), of the fixed element (64).

Near the laser diode (1), the focusing lens (2), which can also be designed as a multistage objective, is fastened with a mount (22) in the tubular, moveable element (54), for example by bonding. The feedback mirror (3) for example made from aluminium with over 90% reflection, is bonded on to the feeler ball (4) and bonded with the latter on to the tubular moveable element (54) and specifically brought in accordance with the Richtkitten principle by the laser (1) is running into a position which yields maximum power of the laser (1) or in the case of which the characteristic of the power of the laser (1) has the desired shape depending on the movement along the individual axes. The projection (641) is designed in such a way that the position of the laser (1) can also be adjusted, and that the required cooling is ensured.

25

The spacing of the Hitachi 7806G laser diode (1) from the feedback mirror (3) is approximately 120 mm in this example, the spacing of the laser diode (1) from the focusing lens (2) is 7 mm, and the focal length of the focusing lens (2) is somewhat smaller, such that the beam waste comes to lie on the feedback mirror (3). There is a depth of field of several millimetres on the feedback mirror (3), and so axial displacement of the feedback mirror (3) up to this amount cannot exert a substantial influence on the resonator quality. The external resonator has, by contrast, a loss in excess of fifty percent when the focusing lens (2) is displaced longitudinally by 2  $\mu$ m. This response and the explicit values depend on the resonator length set, the

sensitivity becoming larger when the length is enlarged.

Figure 5 shows a variation in the laser power or  
5 photodiode voltage U, occurring at a monitor photodiode  
of the laser diode (1) of a feeler pin according to  
Figure 4, in relative units as a function of the purely  
axial displacement of the objective (2), and thus also  
of the feeler ball (4) with reference to the laser (1),  
10 starting from a reference point in the case of  
virtually maximum power. The characteristic feature  
exhibits extremes and, to a good approximation, a  
linearly dropping profile approximately in the interval  
of 13 to 18 micrometres. This range can thus be used as  
15 linear measuring range of the probe. By fitting a  
measured curve profile to one once calibrated, the  
deflection can, however, also be effectively determined  
in non-linear ranges of the characteristic, or the  
profile of a tracing operation can be followed exactly.

20 As a result of the axial symmetry of the arrangement,  
starting from an adjustment with optimum power, the  
sensitivity to lateral offsetting and to tilting of the  
focusing lens (2) is minimal. However, this can be  
25 circumvented by adjusting the basic setting such that  
the focusing lens (2) is slightly offset laterally.  
Since the individual movements are not independent, an  
axial offset is then also required. However, it is then  
possible to find an adjusting position starting from  
30 which the characteristic of the power runs with  
sufficient linearity and a similar gradient as a  
function of the change in position for all directions.  
The most suitable adjustment, which also depends on the  
characteristic required, can be executed by scanning  
35 the adjusting position and recording the  
characteristics in an automated fashion, including in  
the case of Richtkitten as a combined adjusting and  
mounting method.

Figure 6 shows an example of the characteristics in the case of offsetting in the x- y- and z-directions with a suitable offset of the basic position.

5 While, in the case of the adjustment of the example of Figure 5, there was a sensitivity of approximately 180 a.u. per  $\mu\text{m}$  (relative units, as a function of circuit details of the integrated photodiode and the electronic circuit (7)), the axial x-value is thus  
10 halved at 84 a.u. per micrometre, whereas in the directions perpendicular thereto 50 a.u./ $\mu\text{m}$  continued to be achieved for a 60  $\mu\text{m}$  offset in the y-direction, 28 a.u./ $\mu\text{m}$  for a 20  $\mu\text{m}$  offset in the z-direction, in conjunction with a 0  $\mu\text{m}$  offset in the x-direction.  
15 During recording, the positions of the directions of movement respectively not scanned were set in the middle of the constant gradient range; the operating point thus fixed (offset + "middle" position) is therefore at 15  $\mu\text{m}$  for axial x, 70  $\mu\text{m}$  for y, and 25  $\mu\text{m}$   
20 for z. The y/z asymmetry is essentially based on the asymmetry of the laser diode emission characteristic.

The feeler pin according to the invention is suitable for use in co-ordinate measuring machines, and for  
25 other measurement purposes. Features can be changed and exchanged within the scope of the invention, in particular features of individual examples can be interchanged and combined with one another. Modifications in accordance with the prior art from  
30 US 5 103 572 are also possible within the scope of the invention.



Patent claims

1. Feeler pin having a moveable contact element (5) and a fixed element (6), and having a laser feedback  
5 sensor, constructed with a laser (1), external resonator mirror (3) and focusing lens (2), characterized in that the laser (1) is fastened on the fixed element (6), and the focusing lens (2) is fastened on the moveable contact element (5), or  
10 conversely the laser (1) is fastened on the moveable contact element (5), and the focusing lens (2) is fastened on the fixed element (6).

2. Feeler pin according to Claim 1, characterized in  
15 that the external resonator mirror (3) is rigidly connected to the focusing lens (2) (Figures 1, 4).

3. Feeler pin according to Claim 1, characterized in  
20 that the external resonator mirror (3) is rigidly connected to the laser (1) (Figures 2, 3).

4. Feeler pin according to at least one of  
Claims 1-3, characterized in that the laser (1) is a  
laser diode or a laser diode array.

25 5. Feeler pin according to at least one of Claims 1-4, characterized in that the fixed element (63) and the moveable contact element (53) are connected to one another with the aid of a linear guide (653)  
30 (Figure 3).

6. Feeler pin according to at least one of  
Claims 1-4, characterized in that the fixed element (6)  
35 and the moveable contact element (5) can be displaced relative to one another on three axes (x, y, z) and can be rotated about two axes perpendicular to the optical axis (z) of the laser feedback sensor (1, 2, 3).

7. Feeler pin according to at least one of  
Claims 1-6, characterized in that the laser (1) has a  
coupling-out mirror (12) with the reflection reduced in  
such a way that the laser effect does not occur without  
5 the external resonator mirror (3).

8. Feeler pin according to at least one of  
Claims 1-7, characterized in that the spacing between  
the laser (1) and focusing lens (2) is less than half the  
10 spacing between the laser (1) and resonator mirror (3).

Accompanied by 3 page(s) of drawings

## Abstract

Feeler pin having a moveable contact element (5) and a fixed element (6), and having a laser feedback sensor, constructed with a laser (1), external resonator mirror (3) and focusing lens (2), the laser (laser diode) (1) being fastened on the fixed element (6), and the focusing lens (2) being fastened on the moveable contact element (5), or conversely the laser (1) being fastened on the moveable contact element (5), and the focusing lens (2) being fastened on the fixed element (6). For co-ordinate measuring machines inter alia

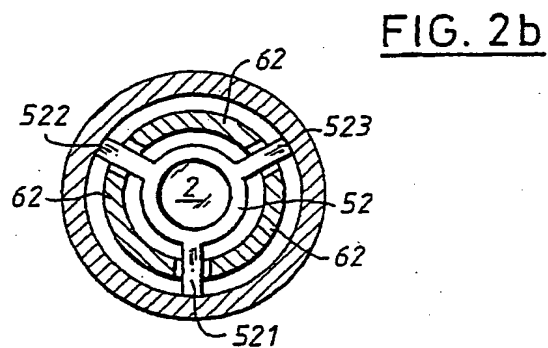
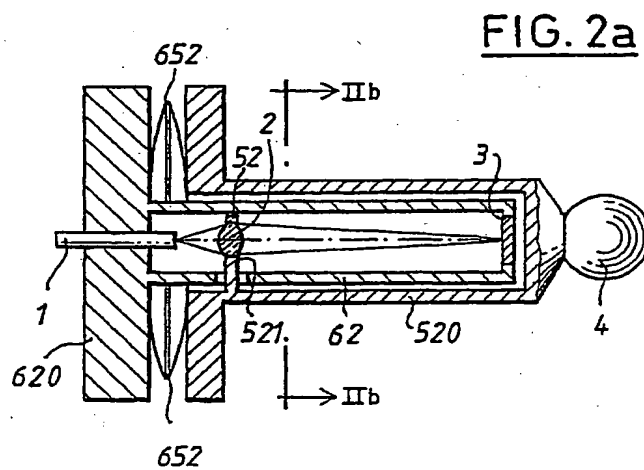
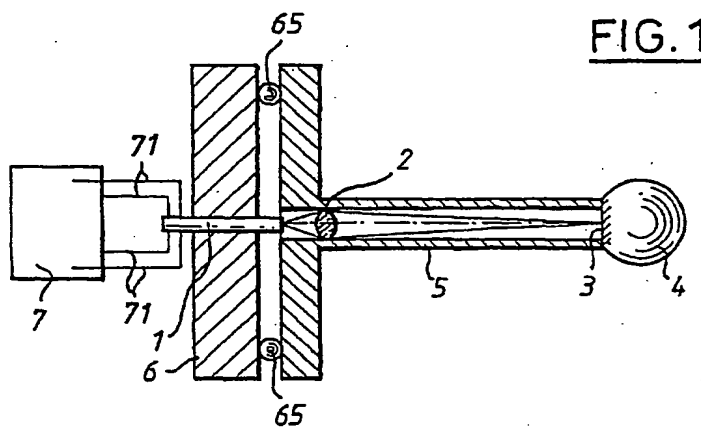


FIG. 3

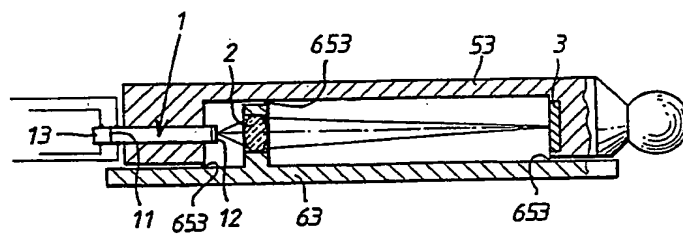


FIG. 4

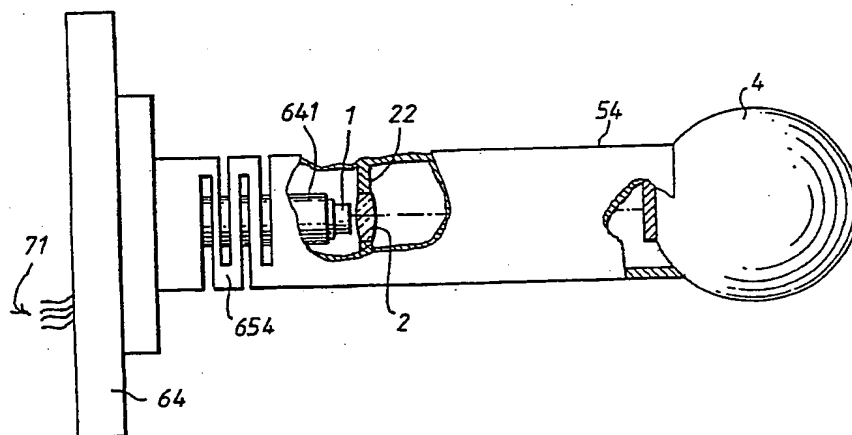


FIG. 5

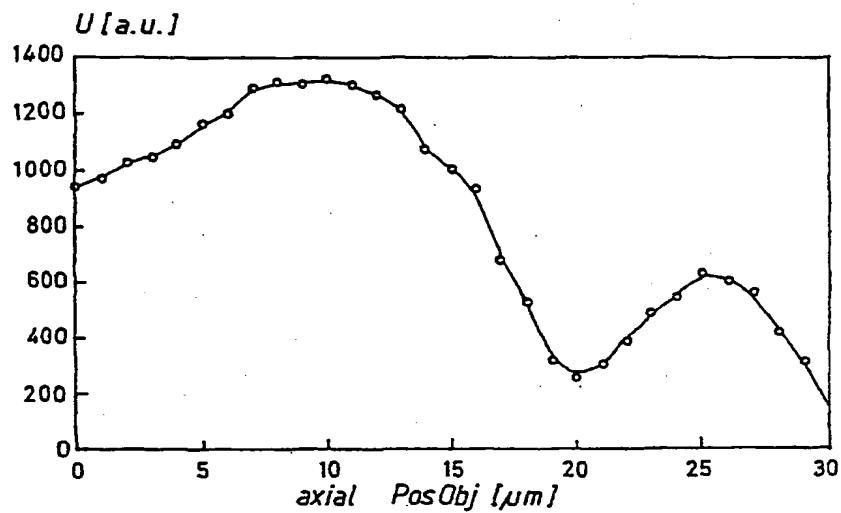


FIG. 6

